

◆ 综述

Application progresses of MRI in evaluating different lesions of knee osteoarthritis

WANG Bin^{1,2}, REN Zhanli², YU Nan^{1,2}, ZHANG Xirong^{1,2},
JIA Yongjun², HE Taiping^{1,2*}

(1. College of Medical Technology, Shaan University of Chinese Medicine,
Xianyang 712046, China; 2. Department of Radiology, Affiliated Hospital of
Shaan University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, China)

[Abstract] Knee osteoarthritis (OA) is a kind of degenerative joint disease characterized by cartilage lesion, meniscus injury, bone marrow lesion, synovitis osteophyte and ligament injury. MRI can clearly display articular cartilage, meniscus and other soft tissues, intuitively understand the anatomical structure or lesion type of the knee, methods with high specificity and sensitivity can be selected according to the progress of OA and pathological types to diagnose OA in early stage before morphological changes occurred in knee soft tissue and surrounding tissues. The application progresses of MRI in evaluation on knee OA were reviewed in this article.

[Keywords] knee joint; osteoarthritis; magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2020.09.026

MRI 评估膝关节骨性关节炎病变

王 斌^{1,2}, 任占丽², 于 楠^{1,2}, 张喜荣^{1,2}, 贾永军², 贺太平^{1,2*}

(1. 陕西中医药大学医学技术学院, 陕西 咸阳 712046;

2. 陕西中医药大学附属医院影像科, 陕西 咸阳 712000)

[摘 要] 膝关节骨性关节炎(OA)是以软骨病变、半月板损伤、骨髓病变、滑膜炎、骨赘及韧带损伤等为主要病理特征的退行性关节病。MRI 可清晰显示关节软骨及半月板等软组织, 直观了解膝关节解剖结构或病变类型, 根据 OA 进展及病理类型选择特异度及敏感度较高的方法, 可于膝关节软组织及周围组织发生形态学变化前早期诊断 OA。本研究对 MRI 评估膝关节 OA 病变中的应用进展进行综述。

[关键词] 膝关节; 骨关节炎; 磁共振成像

[中图分类号] R684; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2020)09-1383-05

膝关节骨性关节炎(osteoarthritis, OA)是以膝关节软骨病变、半月板损伤、滑膜炎、骨赘及韧带损伤等为主要病理改变的退行性关节病^[1], 分为原发性和继发性。原发性 OA 指无明显病因逐渐发生的退行性变, 可能与年龄、遗传、体质、代谢等因素有关; 继发性

OA 指继发于创伤、炎症、关节不稳、积累性劳损等疾病致软骨或关节结构破坏, 后因关节面摩擦和负荷不平衡等因素发生退变^[2]。X 线片显示骨性结构异常特征度较高, 但对关节软骨、滑膜等细微结构的敏感度及特异度较低。利用常规 MR 序列, 包括自旋回波 (spin

[基金项目] 陕西中医药大学创新团队建设项目(2019-YS04)、陕西中医药大学研究生创新项目(54)。

[第一作者] 王斌(1996—), 男, 河北保定人, 在读硕士。研究方向: 磁共振技术。E-mail: 954622712@qq.com

[通信作者] 贺太平, 陕西中医药大学医学技术学院, 712046; 陕西中医药大学附属医院影像科, 712000。E-mail: http89956@163.com

[收稿日期] 2019-11-26 **[修回日期]** 2020-06-05

echo, SE)、双回波稳态(dual echo steady state, DESS)序列等可评估膝关节形态,于膝关节软组织及周围组织发生形态学变化前实现早期诊断。本研究对 MRI 在膝关节 OA 不同类型病变中的应用进展进行综述。

1 软骨病变

膝关节软骨为透明软骨,由水和细胞外基质(extracellular matrix, ECM)等构成,水在其中呈规律性分布,由深层至表层逐渐增多。胶原纤维和蛋白多糖聚合物是 ECM 的主要组成物质,蛋白多糖由带负电荷的糖胺聚糖(glycosaminoglycan, GAG)附着在蛋白上,能吸引阳离子(如 Na^+)。因多种因素导致关节生物力学改变,蛋白多糖丢失、胶原纤维网络破坏及含水量变化,发生骨和软骨形态学改变,软骨出现局灶性缺损而致早期 OA;晚期软骨细胞大范围坏死,严重者可完全破坏而剥脱。

T2 mapping 成像获得的 T2 值与软骨含水量有关,故可间接测量 ECM 胶原含量。退变软骨 T2 值较正常软骨显著升高,且随软骨退变程度加重升高,可采用 T2 阈值 47.6 ms 区分正常软骨与退变软骨^[3]。CARBALLIDO-GAMIO 等^[4]以 T2 mapping 成像定量分析软骨分层,表层软骨 T2 值较深层高,而较高 T2 值可预测软骨病变发生、发展。超短回波时间(ultrashort echo time, UTE)技术亦用于 OA 软骨病变,包括超短回波时间磁化传递(UTE-magnetization transfer, UTE-MT)及 UTE-T2* mapping 序列,对膝关节中的短 T2 组织较敏感。定量观察不同程度软骨损伤 OA 患者,结果显示正常组软骨 UTE-MTR 值 $[(16.30 \pm 0.01)\%]$ 明显高于 OA 组 $[(12.45 \pm 0.02)\%, P < 0.01]$,中重度组的软骨 UTE-MTR 值显著降低;正常组软骨 UTE-T2* 值 $[(20.30 \pm 7.26)\text{ms}]$ 明显高于中重度 OA 组 $(P < 0.01)$ ^[5]。UTE-MT 成像可显示 OA 软骨基质变化,而传统 MT 成像只能检出表面软骨信号。

自旋晶格弛豫时间(the spin-lattice relaxation in the rotating frame, T1 rho)成像技术对蛋白多糖特异性较高,可反映 ECM 中蛋白多糖含量。WYATT 等^[6]采用 7T MR 仪采集 OA 组与正常组 T1 rho 图像,发现 2 组 T1 ρ 值差异有统计学意义,可依据 T1 值判断关节软骨中蛋白多糖含量。陈玲等^[7]对不同程度软骨损伤 OA 组与正常组分别行 T1 rho 和 T2 mapping 成像,重度 OA 组、轻度 OA 组和正常组 T1 ρ 值分别为 $(48.37 \pm 5.80)\text{ms}$ 、 $(44.26 \pm 4.16)\text{ms}$ 和

$(40.34 \pm 2.10)\text{ms}$,重度 OA 组 T1 ρ 值显著高于轻度 OA 组及正常组,且 T1 ρ 值及 T2 值随年龄增加而增大。化学交换饱和和传递(chemical exchange saturation transfer, CEST)技术利用 GAG 的可交换质子间接测量体内 GAG 的局部浓度。非对称性磁化转移率值(magnetization transfer ratio asymmetry, MTR_{asym})越低,软骨内的 GAG 浓度越低,软骨损伤越严重,且 MTR_{asym} 值与疼痛评分呈正相关^[8]。

软骨磁共振延迟增强成像(delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage, dGEMRIC)对软骨蛋白多糖含量特异性及敏感度较高。健康软骨 dGEMRIC 值较高,随软骨退变程度加重, dGEMRIC 值降低。CREMA 等^[9]观察不同程度 OA 中年女性患者,发现软骨 T1Gd 值随 X 线 Kellgren-Lawrence 分级增加而下降。钠成像(sodium $^{23}\text{Na}^+$ imaging)是针对软骨中存在的 $^{23}\text{Na}^+$ 进行成像,钠离子能与 ECM 中 GAG 的负电荷相抵消;OA 患者软骨中 Na^+ 浓度低于较正常软骨,人体中 Na^+ 含量较低且 T2 较短,给实际应用带来很大困难^[10]。

弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)测量 ECM 内水分子 ADC 值可反映软骨组织成分变化。浅层与深层软骨中弥散系数存在明显差异。早期 OA 胶原和蛋白多糖含量减少,软骨中水分子含量相对增多,ADC 值增高^[11]。扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)能反映软骨中水和蛋白多糖含量,其各向异性分数(fractional anisotropy, FA)值反映胶原纤维的排列变化。RAYA 等^[12]发现软骨损伤早期胶原纤维结构发生变化,平均扩散系数值自浅层软骨至深层软骨逐渐升高。OA 患者深层软骨 FA 值显著降低,提示 DTI 能检出早期软骨损伤并对其病变程度进行分级。

2 半月板损伤

半月板主要由纤维软骨组成,且高度水化(水占比 72%),其余成分主要为 ECM 和细胞。半月板损伤是 OA 发生发展的重要危险因素。创伤或退变引起的半月板损伤可致关节稳定性降低,改变其生物力学状态,导致软骨损伤,促使 OA 发生;其他因素导致的 OA 也可引起半月板继发性改变^[13]。

WENGER 等^[14]采用 DESS 序列定量观察 OA 患者半月板,发现 OA 患者内侧胫骨平台半月板覆盖面积减少,外侧半月板体积更大、脱出更严重。EIJGENRAAM 等^[15]发现半月板 T2 值与其组织学泡利评分(Pauli score)呈正相关,提示 T2 mapping 可用

于检测 OA 早期半月板成分变化。莊高明^[16]发现,随半月板损伤程度加重,T1 rho 值升高,且半月板 T1 rho 值与其 T2 值呈显著正相关。MATSUBARA 等^[17]分析 22 例早期 OA 退变型半月板撕裂患者及 19 名正常对照组膝关节不同区域,发现半月板撕裂组股骨端浅层及深层软骨、胫骨端前后区域软骨 T1 rho 值均高于对照组。曹明明等^[18]发现半月板退变组软骨 T2 值 $[(51.42 \pm 4.13) \text{ ms}]$ 高于非半月板退变组 $[(43.27 \pm 3.85) \text{ ms}]$,且半月板损伤程度与软骨 T2 值呈正相关,提示半月板撕裂及退变可引起软骨生化成分改变。WANG 等^[19]发现 ACL 损伤后半月板 T1 rho 值、T2 值不同程度升高,提示 ACL 损伤可导致膝关节生物力学改变,引起半月板亚急性退变。

超短回波时间 T2* 加权 (ultrashort echo time-enhanced T2*, UTE-T2*) 技术对亚临床半月板变性的敏感度较高,可定性和定量不同类型半月板损伤^[5]。TE < 1 ms 时,正常半月板呈均匀稍高信号;TE 为 3~6 ms 时,半月板胶原纤维网络清晰可见。正常半月板平均 T2* 弛豫时间为 4~10 ms,T2* 值升高提示半月板存在亚临床变性,T2* 伪彩图半月板信号不均匀提示胶原纤维组织紊乱,可见 UTE-T2* 技术能反映半月板内部的局灶性变化^[20]。

3 骨髓水肿

骨髓水肿 (bone marrow edema, BME) 是 OA 典型表现,指软骨下骨骨小梁异常改变,T2WI 表现为高信号,常伴软骨退变和关节疼痛,是 OA 进展的重要病理特征。HAYASHI 等^[21]采用中等加权脂肪抑制自旋回波序列 (intermediate-weighted fat-suppressed spin echo, IW FS SE) 和 DESS 序列对 201 例不同类型 BME 进行扫描,发现 DESS 序列有助于鉴别软骨下骨髓水肿样病变 (bone marrow edema-like lesion, BMEL) 与软骨下囊肿;IW FS SE 序列能更好地显示软骨下 BMEL 范围。磁共振波谱 (magnetic resonance spectroscopy, MRS) 是非侵入性探测骨髓内水和脂质变化的技术,可定量水和脂质含量。健康对照组软骨下骨髓以饱和脂质为主要信号,峰值在 1.3 ppm 处;而 OA 组软骨下骨髓不饱和脂质峰值和水峰值分别在 5.35 ppm 和 4.65 ppm 处,且显著升高;BMEL 内的水含量和不饱和脂质均高于周围骨髓,BMEL 内的饱和脂质明显下降^[22]。

4 滑膜炎

软骨缺损及基线水平的 BME 与滑膜炎有关,膝关节软骨及软骨下骨异常变化可能是导致 OA 患者发

生滑膜炎的原因。滑膜炎为 OA 继发性改变,各期均可出现,早期表现为局限性炎症,晚期则表现为炎症弥漫性分布,同时滑膜炎炎症改变可诱导软骨降解,加快 OA 发生发展^[2]。非对比增强 MRI 不能直接评估滑膜炎,但可利用 T2WI 髌下脂肪垫信号作为替代标志物,监测滑膜炎变化^[23]。增强 MRI (contrast-enhanced MRI, CE-MRI) 可直接显示滑膜炎,区分滑膜与关节周围积液^[24]。CE-MRI 观察结果示滑膜炎改变与疼痛评分无明显相关,其严重程度与软骨退变程度呈正相关^[25]。WANG 等^[26]发现老年 OA 患者髌上囊、股骨后隐窝区域积液性滑膜炎与膝关节疼痛评分呈正相关,膝关节其他区域滑膜炎与疼痛评分无明显相关,提示仅膝关节特定区域滑膜炎才可能导致膝关节疼痛。

5 骨赘

软骨损伤后关节生物力学特性改变,早期 OA 软骨下骨可出现骨质流失,进一步发展关节面边缘可形成骨赘,关节轮廓粗糙、不规则,其过程与 OA 软骨退变、关节间隙变窄等同步^[27]。骨赘为 OA 典型标志,多经 X 线检查发现,X 线和 MRI 检出存在骨赘提示 OA 患者软骨缺损和 BML 程度更严重,且膝关节疼痛与骨赘病变程度呈正相关^[28]。针对膝关节骨小梁的 MRI 研究^[29]表明早期 OA 存在软骨下骨骨体积分数、骨小梁数目和骨间距升高及骨厚度降低,晚期可见骨赘形成,提示 X 线检查发现骨赘前软骨下骨已出现微观变化,MRI 可用于早期监测软骨上述改变。

6 韧带损伤

膝关节韧带主要包括 ACL、后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL) 及髌韧带,是膝关节的重要稳定结构,其撕裂及退化致关节生物力学改变并影响稳定性,导致继发性 OA;而 OA 亦使关节生物力学变化,影响韧带功能,进一步加快其发展^[30]。WILSON 等^[31]应用 T2 mapping 成像发现急性或慢性 PCL 撕裂 OA 患者 PCL 平均 T2 值为 $(36 \pm 9) \text{ ms}$,高于无症状志愿者 $(31 \pm 5) \text{ ms}$;且 PCL 撕裂患者 T2 最高值位于 PCL 近端,而正常组 T2 最高值位于 PCL 远端。肌腱、韧带均为短 T2 组织,UTE-MRI 可早期诊断其损伤和评估损伤程度。存在损伤及退行性改变的跟腱 T1 值与正常人有明显差异;脂肪抑制 UTE T2* mapping 可反映韧带和肌腱的生物组成及结构完整性,检测韧带早期退变^[32]。

综上,MRI 可清楚显示关节软骨及半月板等软组织,直观了解膝关节解剖结构或病变类型,并根据 OA

的展及病理类型选择特异度及敏感度均较高的技术,于膝关节软组织及周围组织发生形态学变化前早期诊断 OA。

[参考文献]

- [1] TONGE D P, PEARSON M J, JONES S W. The hallmarks of osteoarthritis and the potential to develop personalised disease-modifying pharmacological therapeutics [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(5):609-621.
- [2] 刘康妍, 凌龙, 胡海澜. 骨关节炎的退变进程及其诊断分期[J]. *中华关节外科杂志(电子版)*, 2017, 11(4):442-445.
- [3] SOELLNER S T, GOLDMANN A, MUELHEIMS D, et al. Intraoperative validation of quantitative T2 mapping in patients with articular cartilage lesions of the knee [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017, 25(11):1841-1849.
- [4] CARBALLIDO-GAMIO J, BLUMENKRANTZ G, LYNCH J A, et al. Longitudinal analysis of MRI T₂ knee cartilage laminar organization in a subset of patients from the osteoarthritis initiative[J]. *Magn Reson Med*, 2010, 63(2):465-472.
- [5] YANG J, SHAO H, MA Y, et al. Quantitative ultrashort echo time magnetization transfer (UTE-MT) for diagnosis of early cartilage degeneration: Comparison with UTE-T2* and T2 mapping[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020, 10(1):171-183.
- [6] WYATT C, GUHA A, VENKATACHARI A, et al. Improved differentiation between knees with cartilage lesions and controls using 7T relaxation time mapping[J]. *J Orthop Translat*, 2015, 3(4):197-204.
- [7] 陈玲, QUEENIE CHAN, 梁文, 等. 磁共振 T1 ρ 和 T2 mapping 成像定量评价早期骨性关节炎[J]. *中国医学影像技术*, 2014, 30(5):776-779.
- [8] JONES K M, POLLARD A C, PAGEL M D. Clinical applications of chemical exchange saturation transfer (CEST) MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*. 2018, 47(1):11-27.
- [9] CREMA M D, HUNTER D J, BURSTEIN D, et al. The relationship between the Kellgren-Lawrence grade of radiographic knee osteoarthritis and delayed gadolinium-enhanced MRI of medial tibiofemoral cartilage (DGEMRIC): A 1-year follow-up study[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2013, 21:S179-S180.
- [10] ZBYN Š, MLYNARIK V, JURAS V, et al. Evaluation of cartilage repair and osteoarthritis with sodium MRI[J]. *NMR Biomed*. 2016, 29(2):206-215.
- [11] BIERI O, GANTER C, WELSCH G H, et al. Fast diffusion-weighted steady state free precession imaging of in vivo knee cartilage[J]. *Magn Reson Med*, 2012, 67(3):691-700.
- [12] RAYA J G, MELKUS G, ADAM-NEUMAIR S, et al. Diffusion-tensor imaging of human articular cartilage specimens with early signs of cartilage damage[J]. *Radiology*, 2013, 266(3):831-841.
- [13] 孙栋. 不同程度的半月板切除与术后膝关节骨性关节炎的相关性研究[D]. 武汉, 华中科技大学, 2019.
- [14] WENGER A, WIRTH W, HUDELMAIER M, et al. Meniscus body position, size, and shape in persons with and persons without radiographic knee osteoarthritis: Quantitative analyses of knee magnetic resonance images from the osteoarthritis initiative[J]. *Arthritis Rheum*, 2013, 65(7):1804-1811.
- [15] EIJGENRAAM S M, BOVENDEERT F A T, VERSCHUEREN J, et al. T2 mapping of the meniscus is a biomarker for early osteoarthritis[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(10):5664-5672.
- [16] 莊高明. 3.0T 磁共振 T1 ρ 和 T2 mapping 成像对膝关节骨性关节炎半月板损伤的定量研究[D]. 广州, 南方医科大学, 2015.
- [17] MATSUBARA H, OKAZAKI K, TAKAYAMA Y, et al. Detection of early cartilage deterioration associated with meniscal tear using T1 ρ mapping magnetic resonance imaging[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16(1):22.
- [18] 曹明明, 张军. 定量 T2-mapping 评价半月板退变与膝关节骨性关节炎的相关性[J]. *中国医学影像技术*, 2012, 28(6):1204-1207.
- [19] WANG A, PEDIOIA V, SU F, et al. MR T1 ρ and T2 of meniscus after acute anterior cruciate ligament injuries. *Osteoarthritis Cartilage*, 2016, 24(4):631-639.
- [20] SIRIWANARANGSUN P, STATUM S, BISWAS R, et al. Ultrashort time to echo magnetic resonance techniques for the musculoskeletal system[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2016, 6(6):731-743.
- [21] HAYASHI D, GUERMAZI A, KWONG C K, et al. Semiquantitative assessment of subchondral bone marrow edema-like lesions and subchondral cysts of the knee at 3T MRI: A comparison between intermediate-weighted fat-suppressed spin echo and dual echo steady state sequences [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2011, 12:198.
- [22] LI X, MA B C, BOLBOS R I, et al. Quantitative assessment of bone marrow edema-like lesion and overlying cartilage in knees with osteoarthritis and anterior cruciate ligament tear using MR imaging and spectroscopic imaging at 3 Tesla[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2008, 28(2):453-461.
- [23] CREMA M D, FELSON D T, ROEMER F W, et al. Peripatellar synovitis: Comparison between non-contrast-enhanced and contrast-enhanced MRI and association with pain. The MOST study [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2013, 21(3):413-418.
- [24] HAYASHI D, ROEMER F W, KATUR A, et al. Imaging of synovitis in osteoarthritis: Current status and outlook[J]. *Semin Arthritis Rheum*, 2011, 41(2):116-130.
- [25] de LANGE-BROKAAR B J, IOAN-FACSINAY A, YUSUF E, et al. Evolution of synovitis in osteoarthritic knees and its association with clinical features[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2016, 24(11):1867-1874.
- [26] WANG X, JIN X, HAN W, et al. Cross-sectional and longitudinal associations between knee joint effusion synovitis

- and knee pain in older adults[J]. J Rheumatol, 2016, 43(1): 121-130.
- [27] 常亮, 秦江辉, 史冬泉, 等. 骨关节炎与软骨下骨研究进展[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2019, 12(10): 827-832.
- [28] SAYRE E C, GUERMAZI A, ESDAILE J M, et al. Associations between knee pain severity and progression versus MRI features: The vancouver longitudinal study of early knee OA[J]. Osteoarthritis and Cartilage, 2015, 23(2): A321-A322.
- [29] LO G H, MERCHANT M G, DRIBAN J B, et al. Knee alignment is quantitatively related to periarticular bone morphometry and density, especially in patients with osteoarthritis[J]. Arthritis Rheumatol, 2018, 70(2): 212-221.
- [30] SCHULZE-TANZIL G. Intraarticular ligament degeneration is interrelated with cartilage and bone destruction in osteoarthritis[J]. Cells, 2019, 8(9): 990.
- [31] WILSON K J, FRIPP J, LOCKARD C A, et al. Quantitative mapping of acute and chronic PCL pathology with 3 T MRI: A prospectively enrolled patient cohort[J]. J Exp Orthop, 2019, 6(1): 22.
- [32] 刘俊谷, 张进. 超短回波时间磁共振成像技术在骨科系统中的应用进展[J]. 磁共振成像, 2020, 11(2): 158-160.

2019 年中国学术期刊影响因子年报 ——《中国医学影像技术》

“2019 年中国学术期刊影响因子年报”于 2019 年 10 月 28 日由中国科学文献计量评价研究中心在北京会议中心发布。《中国医学影像技术》杂志在期刊综合类的相关数据为：

- 1 影响力指数 CI 值: **418.509**;
- 2 总被引: **3817**;
- 3 影响因子: **0.962**;
- 4 他引影响因子: **0.730**;
- 5 5 年影响因子: **0.723**;
- 6 即年指标: **0.148**。